УДК 553.411.042:550.81

ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ГОРНОГО АЛТАЯ И ГОРНОЙ ШОРИИ

А.И. Гусев

ФГУП «Горно-Алтайская ПСЭ». г. Бийск
E-mail: gapse@mail.biysk.ru

В Горном Алтае и Горной Шории распространено эпитермальное золото-серебряное оруденение, пространственно ассоциированное с вулкано-тектоническими структурами центрального типа. Пространственно эпитермальное оруденение связано с субвулканическими образованиями риолит-порфиров, сиенит-порфиров среднедевонского возраста. Локализуется оно нередко среди эруптивных брекчий, подверженных интенсивной аргиллизации. Эпитермальное оруденение образует проявления двух генетических типов: низкосульфидизированный (адуляр-серицитовый) и высокосульфидизированный (кислотно-сульфатный). В низкосульфидизированном типе различимы 3 подтипа: золото-серебряный, полиметалльный олово-серебряный и сереброобогащённый полиметалльный.

Введение

Эпитермальное оруденение формируется в близповерхностных условиях. Современные представления на этот тип оруденения исходят из следующего положения: большинство эпитермальных месторождений образуются при температурах 150...300 °С на глубинах от 1 до 2 км в тесной пространственной связи с вулканогенными системами.

В западной части Алтае-Саянской области распространены протяжённые вулкано-плутонические пояса девонского возраста, в пределах которых отмечаются низкотемпературные проявления золота, серебра, меди, полиметаллов, барита. Они сопровождаются специфическими метасоматитами аргиллизитового типа. Геологическая приуроченность, минеральный состав, геохимические особенности позволяют рассматривать их как эпитермальные проявления.

Целью настоящей работы является рассмотрение эпитермального оруденения региона, в котором главную роль имеют золото и серебро и провести его типизацию в рамках существующих классификаций.

Краткое описание эпитермального золото-серебряного оруденения

Эпитермальное оруденение в регионе приурочено к областям развития девонских вулкано-плутонических комплексов в Чарышском, Ануйско-Чуйском, Лебедском и Уйменском прогибах. По составу оно охватывает минерализацию золото-серебряную, серебряную, олово-серебряную, медно-золотую. Формирование оруденения пространственно тяготеет к очаговым магмо-рудно-метасоматическим системам (МРМС), формировавшимся в нижнем-среднем девоне. Иногда они тесно ассоциируют с медно-порфировыми проявлениями. Некоторые параметры флюидного режима магматитов Алтайского региона, с которыми ассоциировано оруденение, приведены в таблице. Параметры флюидного режима вычислены на основе составов биотита с учетом экспериментальных и теоретических исследований.

Таблица. *Некоторые параметры флюидного режима медно-золото-порфировых и эпитермальных золото-серебряных МРМС*

МРМС, породы	T, °С	lg fO_2	fH_2O	pH_2O	pCO_2	$K_{вос}$	$\frac{pH_2O+pCO_2}{pH_2O}$
Медно-золото-порфировые системы							
Кульбичская, гранит-порфиры	810	–4,0	901	990	1410	0,13	2,42
Чуринская, граносиенит-порфиры,	520	–14,0	1100	1250	1850	0,23	2,48
кварцевые монцодиориты	540	–12,5	1550	1700	2300	0,22	2,35
Чойская, лейкогранит-порфиры	610	–12,4	510	610	870	0,18	2,43
Кувашская, монцодиорит-порфириты	600	–12,3	1600	1850	2750	0,24	2,49
Эпитермальные золото-серебряные системы							
Майско-Семёновская, гранит-порфиры,	530	–11,6	760	920	1080	0,19	2,17
кварцевые сиенит-порфиры	530	–13,8	1120	1200	1800	0,19	2,50
Новофирсовская, гранит-порфиры,	540	–12,1	760	930	1170	0,70	2,26
кварцевые сиенит-порфиры	530	–12,6	950	1200	1970	0,66	3,64

Примечание: T, °С – температура кристаллизации; lg fO_2 – логарифм фугитивности кислорода; fH_2O – фугитивность воды; pH_2O, pCO_2 – парциальное давление воды и углекислоты; $K_{вост}$ – коэффициент восстановленности флюидов. Фугитивности и парциальные давления даны в 10^2 кПа

Наиболее характерными признаками магматогенных флюидов были высокие концентрации CO_2 и высокое соотношение суммы парциальных давлений воды и углекислоты к воде, указывающие на возможность вскипания растворов и образования фреатических колонн.

Золото-серебряный тип в Горном Алтае представлен проявлением Сурич Новофирсовского золоторудного узла, приуроченным к вулкано-тектонической структуре пул-апарт, заложенной на пересечении субмеридионального разлома мантийного заложения и дизъюнктива северо-восточной ориентировки. Структура формировалась в условиях сдвиго-раздвига и генерировала несколько

эруптивных центров, сопровождавшихся субвулканическими образованиями риолит-порфиров. Вулканиты куяганского комплекса (D_2) участка (андезиты, дациты, риолиты и их туфы) и субвулканические образования относятся к известково-щелочной серии и в значительной степени подвержены пропилитизации, аргиллизации. Значительные кислотные изменения вулканитов привели к образованию вторичных кварцитов. Важным структурным признаком золото-серебряного оруденения в Новофирсовоском рудном узле являются очаговые вулканические аппараты центрального типа (Сурич, Игнашиха и другие). Две зоны минерализации субмеридиональной ориентировки представлены дроблёными вулканитами и их туфами, интенсивно аргиллизированными, пронизанными разно ориентированными прожилками и гнёздами кварцевого, кварц-адулярового состава, а также халцедоновидного кварца и халцедона, образующими штокверк. Мощности зон от 10 до 18 м, протяжённости по простиранию более 200 м. Местами отмечаются кварциты с тонкой рассеянной вкрапленностью сульфидов. Сульфидная минерализация локализуется в аргиллизитах и в жильных образованиях и представлена пиритом, реже галенитом, сфалеритом, халькопиритом, самородным золотом, аргентитом. Содержания золота в зоне варьируют от 0,1 до 107 г/т (в среднем 3,3 г/т), серебра от 3 до 150 г/т. Среднее отношение в рудах Au:Ag=1:20.

Южнее описанного участка выделяется штокверковый тип оруденения среди аргиллизитов, образовавшихся по дацитам, трахидацитам, трахиандезитам. Площадь штокверка более 1 км^2. Прожилки и жилы в штокверке варьируют от нескольких десятков сантиметров до 0,5 мм. В шлифах выявляются две ассоциации жильных и сульфидных минералов в штокверковых рудах. Наиболее ранние прожилки и жилы кварца 1 генерации сложены гранобластовым агрегатом крупных выделений с обильными пелитоморфными включениями, отчего создаётся впечатление некоторой запылённости кварца 1. Размеры зёрен от 0,5 до 4 мм. Изредка в ассоциации с кварцем 1 отмечаются редкие вкрапления пирита 1 размерами 0,3...1,5 мм. В зальбандах прожилков и жил кварца наблюдается альбит в виде отдельных зёрен и гнёзд размерами до 1 см, реже отмечается хлорит в виде червеобразных вростков в кварце 1, а также линзочек на контакте прожилков и пород андезитоидного состава. Кварц 2 генерации образует тонкие прожилки мощностью от 0,5 до 5 мм. Он имеет стебельчатый и параллельно-шестоватый облик. Отличается значительно меньшим количеством пелитоморфных включений, нередко прозрачен. С кварцем 2 генерации ассоциируют сульфиды: пирит 2 генерации, галенит, антимонит, самородное золото.

Вторая ассоциация жильных минералов и сульфидов, вероятно, образовалась в самостоятельную стадию и представлена кварцем 3 генерации и халцедоном. Кварц 3 генерации, в отличие, от ранее описанных, имеет более идиоморфный облик. Ассоциация встречается в виде прожилков мощностью 2...5 мм, секущих образования ранней ассоциации кварца 1 и 2. Местами халцедон образует колломорфно-полосчатые прожилки, указывающие на значительно более низкие температуры кристаллизации минералов. С халцедоном ассоциирует тонкая пылевидная вкрапленность сульфидов, среди которых различимы пирит 3 генерации и галенит 2 генерации. В этой ассоциации встречается и золото второй генерации. Содержания золота в рудах варьируют от 0,1 до 250 г/т. По положению в пространстве и минералого-геохимическим признакам (появление крустификацинных и колломорфных текстур в жильных минералах, появлению халцедона) этот тип оруденения представляет собой наиболее верхнюю часть гидротермальной колонны.

Температура гомогенизации газово-жидких включений в кварце, содержащем золото, составляет 180...210 °С. Общая солёность включений низкая (1,3...3,1 ‰ в эквиваленте NaCl). В их составе преобладают CO_2, H_2S, HCl. В небольших количествах определены N_2 и H_3BO_3. Такая низкая солёность включений предполагает смешение магматогенных и метеорных флюидов на небольшой глубине от области рудоотложения, а также вскипание растворов. Маточные растворы близки к нейтральным по pH показателю (pH флюидных включений в золотосодержащем кварце варьирует от 6,3 до 7,4) и относятся к восстановленному типу (так как во флюидных включениях присутствует H_2S).

Содержания золота в пирите варьируют от 3,1 до 12,4 г/т.

Аналогичное по составу оруденение в Горной Шории распространено на участке Майско-Семёновском Майского золоторудного узла, приуроченном к флюидо-эксплозивным брекчиям андезитового состава, и редким дайкам кварцевых сиенитов, аплитов, претерпевшим интенсивную пропилитизацию и аргиллизацию [1]. Отмечены кварциты с тонкой вкрапленностью пирита, сфалерита, халькопирита, реже халькозина, борнита. Такой же набор сульфидов встречается и в прожилках кварцевого, сидерит-кварцевого, адуляр-кварцевого составов. Местами в таких прожилках отмечаются барит и кальцит в виде вкрапленности. Площадь флюидо-эксплозивных брекчий около 2 км^2 (0,62×3,1 км). Полоса флюидо-эксплозивных брекчий протягивается на 6 км в северо-западном направлении, где предполагается второй эксплозивный аппарат. Концентрации золота в брекчиях варьируют от 0,2 до 5 г/т. Самородное золото, аргентит, электрум, арсенопирит, тетраэдрит, редко, пираргирит, обнаружены в кварце II генерации, образующем тонкие прожилки (1...3 мм) и гнёзда в сложных адуляр-кварцевых образованиях. Содержания золота в рудах колеблются от 0,5 до 34 г/т, серебра от 2 до 135 г/т. Проба золота низкая (765 ‰). Отношение Au:Ag=1:15...1:24. Концентрации золота в пирите варьируют от 2,5 до 13,2 г/т,

в арсенопирите от 14 до 150 г/т, в халькопирите от 2 до 11 г/т. Гомогенизация первичных газово-жидких включений в кварце I генерации происходит при температурах 230...210 °C, а в кварце II генерации – при температурах 170...205 °C. Солёность включений в кварце I генерации 1,8...3,7 ‰, а в кварце II генерации 1,5...2,9 ‰ (в эквиваленте NaCl). Набор летучих компонентов в вакуолях ограничивается CO_2, H_2S, HCl и N_2. Маточные растворы близки к нейтральным по pH показателю (pH флюидных включений составляет 6,3...6,9) и относятся к восстановленному типу (наличие неокисленной формы серы в виде H_2S).

Серебро-обогащённые полиметаллические проявления в Горном Алтае встречены в верховьях р. Тюлем и в правом борту р. Б. Сия. Они контролируются эруптивными центрами, приуроченными к сбросу С-С-З ориентировки. Зона минерализации в верховьях р. Тюлем сложена брекчией по туфам и лавам андезитов, сцементированной кварцем, кальцитом и сложными прожилками кварц-кальцитового состава с вкрапленностью адуляра, родохрозита, барита, реже флюорита. Мощность зоны 2,5 м. В зоне минерализации и во вмещающих породах отмечена вкрапленность пирита, тетраэдрита, пираргирита, сфалерита, галенита. В протолочках определены также самородное золото, электрум, бурнонит и бисмутит. Содержания серебра варьируют от 3,5 до 38 г/т, золота от 0,1 до 0,4 г/т. Гомогенизация флюидных включений в кварце с сульфидами составляет 175 °C. Содержания золота в пирите колеблются от 5 до 40 г/т.

Аналогичные проявления в Горной Шории локализуются в верховьях р. Кубань. Приурочены они к зонам разломов такой же С-С-З ориентировки, как и на участках Тюлем и Б. Сия, контролирующим мелкие эруптивные центры, в строении которых участвуют лавы и туфы андезитов, трахидацитов.

Оруденение олово-серебряного состава обнаружено в северной части Уйменского рифтогенного прогиба в местах проявления эруптивных центров, участвующих в строении крупной Саганы-Кылайской вулкано-плутонической структуры площадью 550 км^2. Эруптивные центры сложены риодацит-риолитовыми лавами и туфами такого же состава (саганская свита – D_2), а также субвулканическими куполами трахириодацит-порфиров, кварцевых порфиров. Субвулканические образования обнаруживают близость к кварцевым латитам. Эруптивные центры и купола контролируются крупными глубинными разломами С-З направления, являющиеся поперечными к плану «алтайских структур», подчёркиваемые контрастными градиентами Δg и сопровождаемые зонами трещиноватости такой же ориентировки. Последние затрагивают и вулканогенные образования, и субвулканические купола и локализуются в их контактовых частях (левый борт р. Бельги, р.р. Угул, Байаюк, Б. Кузя, Коурсан, р. Каракокша выше устья р. Саганы, а также вершина г. Кылай). Местами к этим зонам приурочены дайки кварцевых диоритовых порфиритов. В указанных зонах проявлены кварцевые жилы и системы кулисных прожилков кварца с сульфидной минерализацией, образующей тонкую вкрапленность: касситерит, пирит, тетраэдрит, редко арсенопирит, сфалерит (клейофан), вюртцит, галенит, халькопирит, пираргирит, джемсонит. Сульфосоли серебра выделялись в заключительную стадию минерализации и приурочены к тонким прожилкам кварца с баритом, секущим ранний кварц с касситеритом и пиритом. Местами в поздних прожилках отмечается кокардовая текстура. В зоне окисления отмечено самородное серебро. Содержания олова в зонах колеблются от 0,04 до 0,3 %, серебра – от 5 до 28 г/т. Концентрации серебра в пирите варьируют от 25 до 300 г/т, золота от 0,5 до 10 г/т. Околорудные изменения представлены аргиллизитами (серицитизация, алунитизация). Гомогенизация первичных газово-жидких включений в кварце I генерации с пиритом и касситеритом происходит в интервале температур 230...210 °C, а аналогичных включений в кварце II генерации с сульфосолями серебра – 160...180 °C.

Эпитермальное медно-золотое оруденение зарегистрировано на восточном склоне г. Чакпундобэ, а также в междуречье Байгол-Лебедь среди вулканитов трахириодацитового состава (саганская свита – D_2). Медно-золоторудное Ложковое проявление, представленное зоной прожилковой минерализации видимой мощностью 1,4 м, приурочено к зоне разлома ориентированного параллельно контакту субвулканического штока г. Чакпундобэ и, вероятно, локализуется в верхней части медно-золото-порфировой системы Чакпундобэ. Кварц-баритовые и кварцевые прожилки содержат спорадическую рассеянную вкрапленность пирита, гематита, халькопирита, борнита, халькозина. В последних под микроскопом обнаружены энаргит и люцонит в виде мелких включений. Коррозионные границы энаргита с борнитом и халькопиритом указывают на раннюю кристаллизацию первого и метасоматическое замещение его поздними относительно малосернистыми халькопиритом, борнитом, халькозином. Как видно из минерального состава руд этот тип оруденения отличается от ранее рассмотренных присутствием небольшого количества сульфидов с высоким содержанием серы (энаргита, люцонита). Высокосернистые сульфиды являются типоморфными для описываемого типа оруденения. Кроме того, отмечается самородная сера, которая присутствует в зальбандах некоторых прожилков кварц-баритового состава. Концентрации меди в рудах составляют 0,05...0,2 %, золота – 0,2...0,9 г/т, серебра – 2...8 г/т. Зона сопровождается аргиллизитами с широким развитием алунита. Наличие значительного количества барита, алунита в околорудно изменённых породах свидетельствует о процессах кислотного выщелачивания, сопровождавших этот тип оруденения. Гомогенизация газово-жидких включений кварца, содержащего сульфиды, осуществляется в интервале температур 190...210 °C. В составе включений, помимо таких традиционных летучих компо-

нентов как CO_2 и HCl, определены SO_2 и H_3BO_3. Рудоносные растворы, в отличие от ранее рассмотренных проявлений, относятся к окисленному типу (H_2S во флюидных включениях отсутствует, но отмечены окисленные формы серы – SO_2) и характеризуются кислотной средой (pH вакуолей продуктивного кварца осциллирует от 1,5 до 3). Проявления этого типа в регионе ассоциируют с медно-золото-порфировыми, самородной меди, баритовыми.

Интерпретация результатов и выводы

Эпитермальное золото-серебряное оруденение в Горном Алтае распространено широко, однако изученность его до последнего времени была крайне низкой. Как видно из краткого обзора состав руд золото-серебряных проявлений весьма разнообразен. Геологические условия локализации описанных типов эпитермального оруденения указывают на их тесную пространственную связь с порфировыми субвулканическими образованиями среднедевонского возраста. Оруденение располагается вблизи штоков и даек и его формирование, как и самих субвулканических тел, связывается с глубинными магматическими очагами. Они приурочены к вулкано-тектоническим структурам центрального типа. На некоторых проявлениях отмечаются около-ложерловые фации вулканитов, а также флюидо-эксплозивные брекчии. Наблюдается сходство в составе многих летучих компонентов флюидов магматогенного и гидротермального этапов.

В рассмотренных магмо-рудно-метасоматических системах вырисовывается общая схема их генерации и зональности. В общем виде зональность порфировых МРМС можно представить в следующем виде на примере медно-золото-порфировой системы Чакпундобэ. В центре зональных МРМС располагается рудогенерирующий порфировый шток или интрузив в апикальной части которого локализуется медно-золото-порфировое оруденение проявления Чакпундобэ (нередко во флюидо-эксплозивных брекчиях). Выше последнего (в лавах, туфах, брекчиях) располагается высокосульфидизированное золото-серебряное эпитермальное оруденение проявления Ложкового с типоморфными минералами (энаргитом, люцонитом). Рассмотренные типы низкосульфидизированного эпитермального благороднометалльного оруденения являются дистальными фациями рудообразования порфировой МРМС.

Согласно существующим классификациям [2–5] рассматриваемое оруденение можно разделить на два главных генетических типа: низкосульфидизированный (адуляр-серицитовый) и высокосульфидизированный (кислотно-сульфатный). В низкосульфидизированном типе различимы 3 подтипа: золото-серебряный, полиметалльный олово-серебряный и серебро-обогащённый полиметалльный.

Низкосульфидизированный тип эпитермального золото-серебряного оруденения (Сурич, Майско-Семёновское) формировался в специфических условиях. Отложение минерализации в этом подтипе осуществлялось из близнейтральных, обеднённых серой, более восстановленных флюидов, содержащих неокисленную форму серы (H_2S). При этом, значительно более высокая восстановленность характерна и для магматогенных флюидов (таблица). Весьма низкая солёность газово-жидких включений в продуктивном кварце предполагает смешение магматогенных и метеорных флюидов на небольшой глубине от области рудоотложения, а также вскипание растворов на путях их движения.

Высокосульфидизированный подтип эпитермального золото-серебряного оруденения (Ложковое проявление) формировался из кислых, обогащённых серой, более окисленных флюидов. Наличие алунита, барита в аргиллизитах, сопровождающих этот подтип оруденения, свидетельствует об интенсивных процессах кислотного выщелачивая. Флюиды в этом подтипе генерировались путём конденсации SO_2-обогащённых магматогенных летучих, вероятно, в присутствии различных количеств метеорной воды, о чём свидетельствуют низкие значения солёности первичных газово-жидких включений в продуктивном кварце (возможно результат смешения ювенильных растворов и вадозных вод). Помимо SO_2, магматогенные и гидротермальные флюиды содержали комплексы бора.

Сходные геологические условия локализации эпитермального золото-серебряного оруденения, аналогичные минеральные типы и подтипы наблюдаются в вулкано-плутонических поясах Камчатки [1], Японии [1, 2], Перу [5, 6]. Региональной особенностью золото-серебряных типов оруденения Горного Алтая и магматитов, с которыми они связаны, являются повышенные концентрации бора в магматогенных и гидротермальных флюидах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щепотьев Ю.М., Вартанян С.С. и др. Золоторудные месторождения островных дуг Тихого океана. – М.: ЦНИГРИ, 1989. – 244 с.
2. Нарсеев В.А., Курбанов Н.К., Константинов М.М. и др. Прогнозирование и поиски месторождений золота. – М.: ЦНИГРИ, 1989. – 237 с.
3. Hedenquist J.W., Izawa E., Arribas A., White N.C. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration // Resource Geology Special Publication. – Tokyo, Japan. – 1996. – № 1. – 17 p.
4. Mosier D.L., Menzie W.D., Kleinhampl F.J. Geologic and Grade-Tonnage Information on Tertiary Epithermal Precious- and Base-Metal Vein Districts Associated with Volcanic Rocks // US Geol. Surv. Bull. – 1986. – № 1666. – 42 p.
5. Sillitoe R.H. Epithermal Models: Genetic Types, Geometrical Controls and Shallow Features // Mineral Deposit Modeling. – Canada, Newfoundland, 1995. – P. 403–418.
6. Ericksen G.E., Cunningham C.G. Epithermal Precious-metal Deposits Hosted by the Neogene and Quaternary Volcanic Complex in the Central Andes // Mineral Deposit Modeling. – Canada, Newfoundland, 1995. – P. 419–431.